

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**ТАГАНРОГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра конструирования радиоэлектронной аппаратуры

РУКОВОДСТВО
к выполнению работы расчетно-графического практикума
**КОНСТРУИРОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ
ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ**
по курсу
**КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ МИКРОСХЕМ
И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ ЭВА**
Для студентов специальности 0648

Таганрог 1999

УДК 621.382.81

Руководство к выполнению работы расчетно-графического практикума «Конструирование гибридных интегральных микросхем» по курсу «Конструкции и расчет микросхем и микроэлементов ЭВА». Для студентов специальности 0648. Под ред. М. Ф. Пономарева.

Коноплев Б. Г.

Таганрог, ТРТИ, 1981.

Методические указания содержат руководство для выполнения расчетно-графической работы «Конструирование гибридных интегральных микросхем» и включают описание особенностей конструкции микросхем, методики проектирования, правила оформления конструкторской документации. В приложениях приведены основные справочные данные и рассмотрен пример разработки гибридной интегральной схемы (ГИС).

Руководство может также использоваться студентами специальности 0705 при выполнении курсового проекта по курсу «Конструкции и технология микросхем».

Табл. 8, ил. 18, библиогр. 10.

Составил Б. Г. Коноплев

Рецензент Ю. Ф. Блинов, канд. техн. наук, доцент кафедры ТРЭА ТРТИ.

1. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТОВ

Целью лабораторного расчетно-графического практикума является изучение конструкций и характеристик интегральных микросхем и развитие у студентов навыков конструирования и расчета гибридных пленочных (ГИС) и полупроводниковых (ИПС) микросхем [1 - 5].

Лабораторный практикум включает выполнение двух работ. При выполнении первой работы проводятся расчет и конструирование ГИС, в которой используется в качестве компонента бескорпусная ИПС, разрабатываемая при выполнении второй работы.

Студентам выдаются технические задания на проектируемые микросхемы малого уровня сложности и схема электрическая принципиальная реализуемого устройства. На электрической схеме выделена часть устройства, которую надлежит реализовать в виде ИПС.

Работу начинают с анализа технического задания и электрической схемы. В результате анализа формируются требования к конструкции элементов и микросхемы в целом. Далее проводится выбор и обоснование конструктивно-технологического варианта микросхемы, выбор материалов, расчет элементов, разработка топологии микросхемы. При разработке ГИС на основании результатов анализа технического задания выбирается корпус и проводится оценка теплового режима микросхемы. Бескорпусная ИПС выполняется в виде кристалла заданных размеров, защищенного слоем лака или компаунда.

Отчет по расчетно-графической работе должен содержать результаты расчетов микросхем и конструкторскую документацию.

На ГИС выпускается комплект конструкторской документации, включающий спецификацию, сборочный чертеж, чертеж платы (топологический чертеж), схему электрическую принципиальную. В отчет по второй работе помещается только эскиз топологического чертежа кристалла ИПС.

2. АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

Целью анализа технического задания является уточнение технических требований, предъявляемых к электрическим характеристикам, конструкции и технологии изготовления микросхем.

Общие требования к электрическим и конструктивным характеристикам направлены на повышение надежности и унификацию микросхем. При проектировании следует учитывать следующие основные требования:

- микросхемы одного типа должны быть взаимозаменяемыми;
- вероятность безотказной работы микросхемы (если это не оговорено особо в техническом задании) в течение 1000 ч должна быть не менее 0,95;
- обеспечение возможности контроля параметров элементов перед сборкой микросхем;
- микросхема должна иметь маркировку с обозначением товарного знака предприятия-изготовителя, месяца и года изготовления, клеймо отдела технического контроля (ОТК) и ключ - указатель места расположения первого вывода.

Частные технические требования определяются техническим заданием и на основе анализа электрической схемы. К числу основных частных технических требований относятся:

- требования к электрическим параметрам микросхемы, их стабильности и допустимым погрешностям;
- требования по устойчивости к механическим, климатическим и другим внешним воздействиям [б] ;
- рекомендуемая цоколевка микросхемы.

Если требования к цоколевке не оговорены, то рекомендуется следующая: 1-й вывод корпуса - общий, крайние выводы - питающие напряжения.

3. КОНСТРУИРОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ (ГИС)

3.1. Элементы и компоненты ГИС

3.1.1. Подложки

Перечень основных материалов, применяемых для изготовления подложек ГИС, и их свойства приведены в прил. I.

Перспективными и широко распространенными материалами являются ситаллы, которые в 2-3 раза прочнее стекол. Для мощных ГИС предпочтительнее использовать керамические материалы, имеющие более высокую теплопроводность и механическую прочность. Другим важным качеством керамических подложек является высокая температура размягчения керамики, что позволяет применять их в производстве толстопленочных микросхем, платы которых при изготовлении обрабатываются при высоких температурах.

Обработка рабочих поверхностей подложек тонкопленочных ГИС должна соответствовать 13-14 классу чистоты, толщина $0,6^{-0.1}$ мм. Для изготовления толстопленочных ГИС допустимо применять подложки, обработанные по 8-10 классу чистоты, толщина $1,6^{-0.3}$ мм. Чистота обработки торцов и нерабочей поверхности подложки должна быть не хуже 6 класса.

3.1.2. Проводники и контактные площадки

С помощью пленочных проводников осуществляется электрическое соединение элементов и компонентов ГИС. Для присоединения внешних выводов навесных компонентов, а также для контроля электрических характеристик микросхемы служат контактные площадки. Внешние контактные площадки тонкопленочных ГИС соединяются с выводами корпуса проводниками длиной до 5 мм из золотой (3 л 999,9 ГОСТ 7222-74) или медной (медь МВ, ТУП Я е 0,021.040-72, покрытие - припой П СР ОС3-38, ТУ № 48-07-247-70) проволоки диаметром 40-90 мкм. В толстопленочных ГИС, выпускаемых в металлополимерных корпусах, выводы микросхемы диаметром 0,3-1,1 мм обычно припаиваются непосредственно к внешним контактным площадкам платы.

Характеристики материалов пленочных проводников приведены в прил. II. В тонкопленочных ГИС используются, как правило, многослойные системы, состоящие из слоя материала с хорошей адгезией к подложке (подслой), слоя высокопроводящего материала и защитного покрытия.

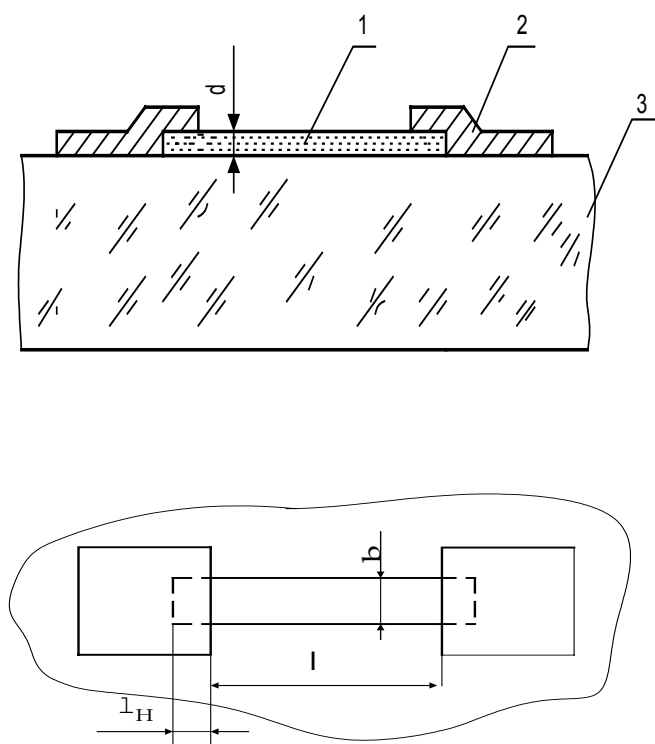
Для изготовления проводников и контактных площадок толстопленочных ГИС применяются пасты, включающие палладий (ТУ 6-09-2025-72),

серебро (ГОСТ 1277-63), стекло марки 660^a (ТУ10-3) и окись висмута (ГОСТ 10216-62). В зависимости от рецептуры получают пасты ПП-1, ПП-2, ПП-3 и ПП-4. Паста ПП-1 применяется для изготовления проводников, контактных площадок и нижних обкладок пленочных конденсаторов; паста ПП-2 - для изготовления верхних обкладок конденсаторов; паста ПП-3 - для изготовления проводников, нижних обкладок конденсаторов и контактных площадок для монтажа компонентов с жесткими выводами; паста ПП-4 - для изготовления проводников, наносимых на слой диэлектрика. Для повышения надежности паяных соединений и уменьшения сопротивления проводящие элементы на основе паст ПП-1, ПП-3 и ПП-4 рекомендуется покрывать припоем П Ср ОСЗ-58.

3.1.3. Пленочные резисторы

Типовая конструкция пленочного резистора прямоугольной формы показана на рис.3.1. Резистор состоит из полоски резистивной пленки и контактных площадок. Характеристики некоторых материалов резисторов приведены в прил. III. Для изготовления тонкопленочных ГИС с низкоомными резисторами используется тантал, широко применяется никром, а в случае повышенных требований к стабильности параметров резисторов - сплав № 3. Для изготовления ГИС с высокоомными резисторами используется сплав кермет. При производстве толстопленочных ГИС применяются резистивные пасты ПР, включающие палладий (ТУ-6-09-2025-72), серебро (ГОСТ 1277-63), стекло марки 660^a (ТУ10-3).

Рис.3.1. Конструкция пленочного резистора прямоугольной формы. 1 - резистивный слой, 2 - контактные площадки, 3 - подложка.



Величина сопротивления пленочного резистора определяется выражением:

$$R = \frac{\rho_v l}{db} + 2R_k = \rho_0 K_\phi + 2R_k, \quad (3.1)$$

где ρ_v – удельное объемное сопротивление;

ρ_0 – удельное поверхностное сопротивление резистивной пленки, численно равное сопротивлению резистора квадратной формы;

$K_\phi = \frac{l}{b}$ – коэффициент формы резистора;

R_k – переходное сопротивление областей контактов резистивной и проводниковой пленок.

Обычно (при $R > 10$ Ом) сопротивление областей контактов значительно меньше сопротивления резистивной пленки, поэтому из формулы (3.1):

$$R \approx \rho_0 K_\phi. \quad (3.2)$$

Исходными данными для расчета резисторов являются:

- номинальная величина сопротивления R , Ом;
- допустимое отклонение фактической величины сопротивления от номинала

$$\pm \delta \left(\frac{\Delta R}{R} \right) \text{ доп. \%};$$

- мощность, рассеиваемая резистором, P , Вт;
- коэффициент нагрузки K_n ($K_n \approx 0.5 - 1.0$; при повышенных требованиях к надежности следует выбирать меньшие значения K_n из рекомендованного диапазона);
- условия эксплуатации и хранения: минимальная $T_{\text{мин}}$ и максимальная $T_{\text{макс}}$ температуры окружающей среды, К; продолжительность эксплуатации $t_{\text{раб}}$ или хранения $t_{\text{хран}}$, ч;
- конструктивно-технологические ограничения: минимально допустимая ширина пленочного резистора $b_{\text{мин}}$ (для тонкопленочных микросхем $b_{\text{мин}} = 100 \text{ мкм}$, для толстопленочных - $b_{\text{мин}} = 800 \text{ мкм}$), абсолютные погрешности размеров контура пленочного элемента $\pm \delta(\Delta b)$ и $\pm \delta(\Delta l)$ (для тонкопленочной технологии $\delta(\Delta b) \approx \delta(\Delta l) \approx 5 - 10 \text{ мкм}$, для толстопленочной – 50 - 100 мкм).

При выборе материала резистивной пленки рекомендуется стремиться к тому, чтобы все резисторы, расположенные на одной подложке, имели одинаковое поверхностное сопротивление. Материал выбирают (см. прил. III) с таким средним значением $\bar{\rho}_0$, чтобы величины K_ϕ , определяемые для всех резисторов микросхемы из формулы (3.2), лежали в пределах $0.1 < K_\phi < 10$ для масочных методов изготовления ГИС и в пределах $0.1 < K_\phi < 50$ для фотолитографических методов. Высокоомные резисторы микросхемы, для которых получается $K_\phi > 10(50)$ следует проектировать в виде резисторов сложной формы, конструкция которых показана на рис.3.2 (толстопленочные резисторы, как правило, выполняются только прямоугольной формы).

Для выбранного материала из прил. III определяются характеристики: среднее значение $\bar{\rho}_0$ и допуск $\pm \delta \left(\frac{\Delta \rho_0}{\rho_0} \right)$; допустимая удельная мощность

рассеивания ρ_0 ; среднее значение $\bar{\alpha}_{\rho_0}$ и допуск $\pm \delta(\Delta\alpha\rho_0)$ температурного коэффициента сопротивления (ТКС); среднее значение $\bar{K}_{CT} \rho_0$ и допуск $\pm \delta(\Delta K_{CT}\rho_0)$ коэффициента старения.

Расчет резистора начинают с определения коэффициента формы по формуле (3.2).

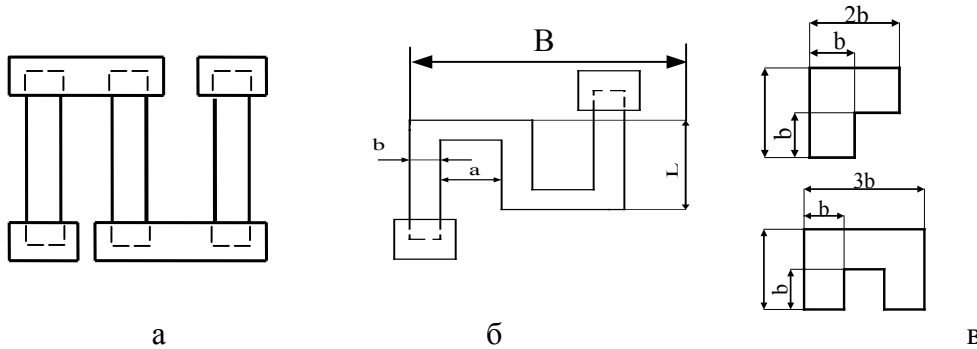


Рис.3.2. Конструкция резисторов сложной формы: «змейка» (а), «меандр» (б), элементы сопряжения (в) - $K_{\text{фс}}=2,55$ для Г-образного и $K_{\text{фс}}=4$ для П-образного элемента.

Затем определяют допустимую величину случайной составляющей поля допуска $\delta\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{\Sigma_{\text{дон}}}$:

$$\delta\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{\Sigma_{\text{дон}}} = \frac{|\delta\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{\text{дон}}|}{\varepsilon} - M\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{\Sigma^+}; \quad (3.3)$$

$$\delta\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{\Sigma_{\text{дон}}} = \frac{|\delta\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{\text{дон}}|}{\varepsilon} - |M\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{\Sigma^-}|; \quad (3.4)$$

где ε - коэффициент запаса на уход параметров под действием неучтенных дестабилизирующих факторов: радиация, атмосферное давление и др.; $\varepsilon \approx 1,1 \sim 1,2$;

$M\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{\Sigma^+}$ и $M\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{\Sigma^-}$ - алгебраические суммы положительных и отрицательных средних значений погрешностей сопротивления резистора, вызванных изменением температуры окружающей среды и старением материала.

Средние значения погрешностей сопротивления определяются выражениями

$$M\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{T_{\text{max}}} \equiv \bar{\alpha}_{\rho_0}(T_{\text{max}} - T_H)100\%; \quad (3.5)$$

$$M\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{T_{\text{min}}} \equiv \bar{\alpha}_{\rho_0}(T_{\text{min}} - T_H)100\%; \quad (3.6)$$

$$M\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{CT} = \bar{K}_{CT}\rho_0 t_{\text{раб}}100\%; \quad (3.7)$$

где T_H - температура нормальных климатических условий (293 К).

В качестве допустимой величины $\delta\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{\Sigma_{доп}}$ выбирают минимальное значение из определенных по формулам (3.3) и (3.4). Если расчет по этим формулам дает отрицательное значение $\delta\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{\Sigma_{доп}}$, то это означает, что для реализации заданной точности необходимо выбрать материал резистивной пленки с меньшими ТКС и $K_{СТ\rho_0}$.

Далее определяют допустимую погрешность коэффициента формы:

$$\delta\left(\frac{\Delta K_{\phi}}{K_{\phi}}\right)_{доп} = \left\{ \left[\delta\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{\Sigma_{доп}} \right]^2 - \left[\delta\left(\frac{\Delta \rho_0}{\rho_0}\right) \right]^2 - \left[\delta(\Delta K_{СТ\rho_0}) t_{паб} 100\% \right]^2 - \left[\delta(\Delta \alpha_{\rho_0}) \Delta T 100\% \right]^2 \right\}^{0,5},$$

где $[\delta(\Delta \alpha_{\rho_0}) \Delta T 100\%]_{\max}$ - максимальное значение случайной составляющей отклонения сопротивления при изменении температуры окружающей среды; выбирается большее значение из двух:

$$|\delta(\Delta \alpha_{\rho_0})(T_{\max} - T_H) 100\%| \quad \text{или} \quad |\delta(\Delta \alpha_{\rho_0})(T_{\min} - T_H) 100\%|$$

При $K_{\phi} \geq 1$ расчетное значение ширины резистора $b_{расч}$ определяется из следующего уровня: $b_{расч}$ должно быть больше наибольшей из трех величин b_{\min} , b_p , b_{δ} , где b_p - минимально допустимое значение ширины, определяемое требованием к точности коэффициента формы

$$b_{\delta} = \frac{|\delta(\Delta b)| [1 + (K_{\phi})^{-2}]^{0,5} 100\%}{\delta\left(\frac{\Delta K_{\phi}}{K_{\phi}}\right)_{доп}} \quad (3.9)$$

$$b_p = \left(\frac{p}{p_0 K_H K_{\phi}}\right)^{0,5}. \quad (3.10)$$

Окончательно ширина резистора выбирается равной ближайшему к $b_{расч}$ большему целому значению, кратному шагу координатной сетки топологического чертежа.

Расчетное значение длины резистора прямоугольной формы выбирается из соотношения:

$$l_{расч} = b K_{\phi} \quad (3.11)$$

Длина принимается равной ближайшему к $l_{расч}$ целому значению, кратному шагу координатной сетки. В случае, если чертеж выполняется без использования координатной сетки, величины $l_{расч}$, $b_{расч}$ резистора округляются до значений, кратных 10мкм.

После определения размеров резистора необходимо оценить погрешность, вызванную округлением величины $l_{расч}$, определив величину

$\delta\left(\frac{\Delta K_{\phi}}{K_{\phi}}\right)$ из формулы (3.9), подставив округленные значения l , b . Если

$\delta\left(\frac{\Delta K_{\phi}}{K_{\phi}}\right) > \delta\left(\frac{\Delta K_{\phi}}{K_{\phi}}\right)_{доп}$, то необходимо увеличить ширину резистора. При

$K_{\phi} < 1$ $l_{расч}$ выбирается больше наибольшей из трёх величин: l_{\min} , l_{δ} , и l_p .

Величина l_{δ} определяется по формуле

$$l_{\delta} = \frac{|\delta(\Delta l)| (1 + K_{\phi}^2)^{0,5} 100\%}{\delta(\Delta K_{\phi} / K_{\phi})_{доп}}.$$

Величина l_p определяется по формуле $l_p = \left(\frac{\rho K_\phi}{\rho_0 K_H}\right)^{0,5}$.

Минимальная длина l_{\min} резистора тонкопленочной ГИС должна быть не менее 100 мкм, минимальная длина толстопленочного резистора – 800 мкм. Ширина резистора при известной длине $l_{\text{расч}}$ определяется из формулы (3.11).

Методика расчета высокоомных резисторов типа «змейка» (см. рис. 3.2.,а) не отличается от приведенной выше. После расчета общей длины $l_{\text{расч}}$ резистор делят на ряд секций прямоугольной формы, исходя из удобства размещения резистора на плате.

Сопротивление резистора типа «меандр» (см. рис. 3.2.,б) определяется выражением

$$R = \rho_0 K_{\text{фср}} = \rho_0 \frac{l_{\text{ср}}}{b},$$

где $K_{\text{фср}}$, $l_{\text{ср}}$ – средний коэффициент формы и средняя длина резистора.

Величины $K_{\text{фср}}$, $l_{\text{ср}}$ и $b_{\text{расч}}$ определяются по приведенной выше методике. Затем определяется суммарная длина звеньев прямоугольной формы, заключенных между элементами сопряжения (см. рис. 3.2.,в)

$$l_E = l_{\text{ср}} - b_{\text{расч}} n K_{\text{фс}}, \quad (3.12)$$

где n – число элементов сопряжения;

$K_{\text{фср}}$ – коэффициент формы элемента сопряжения (см. рис. 3.2.,в);

Для резистора с Г-образными элементами сопряжения (см. рис. 3.2.,в) необходимое количество элементов можно оценить для различных отношений L/B и $m = a/b$

$$n = \sqrt{\frac{K_{\text{фс}} L}{1 + m B}}. \quad (3.13)$$

Дробное n округляется до ближайшего числа. Компактную форму имеют резисторы с $L/B = 0,5 - 2$.

Для резистора с П-образными элементами сопряжения необходимое количество элементов на один меньше, чем определяется по формуле (3.13).

С целью устранения влияния погрешности совмещения масок резистивного слоя и контактов на погрешность сопротивления пленочного резистора сложной формы необходимо, чтобы токи входа и выхода были направлены в одну сторону.

Сопротивление резисторов повышенной точности при подгонке изменяется в сторону увеличения за счет уменьшения ширины (см. рис. 3.3.,а) или увеличения длины (см. рис. 3.3.,б) резистивной пленки. Ступенчатая подгонка обеспечивает точность до 1%, плавная – до 0,1%.

При ступенчатой подгонке длина основной части l_0 и дополнительных секций l_c и количество секций n_c выбирается с использованием формул

$$l_0 = \frac{R_{\max} b}{\bar{\rho}_0 [1 + \delta \left(\frac{\Delta \rho_0}{\rho_0}\right) / 100\%]}; \quad (3.14)$$

$$l_c = \frac{b(R_{\max} - R_{\min})}{\bar{\rho}_0 [1 + \delta \left(\frac{\Delta \rho_0}{\rho_0}\right) / 100\%]} \quad (3.15)$$

$$n_c = \frac{R_{\max} - R^*_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}} \frac{100\% + \delta \left(\frac{\Delta \rho_0}{\rho_0} \right)}{100\% - \delta \left(\frac{\Delta \rho_0}{\rho_0} \right)}, \quad (3.16)$$

где

$$R_{\max} = R \left(1 + \frac{\delta_R}{100\%} \right);$$

$$R_{\min} = R \left(1 - \frac{\delta_R}{100\%} \right);$$

$$R^*_{\min} = \frac{R_{\max} \left(1 - \frac{\delta_{TEX}}{100\%} \right)}{\left(1 + \frac{\delta_{TEX}}{100\%} \right)};$$

$$\delta_R = \left\{ \left[\delta \left(\frac{\Delta R}{R} \right) \right]_{\Sigma \text{длн}}^2 - \left[\delta \left(\Delta K_{\text{ст} \rho_0} \right) \right]_{\text{раб}}^2 - \left[\delta \left(\Delta \alpha_{\rho_0} \right) \Delta T 100\% \right]^2 \max \right\}^{0,5};$$

$$\delta_{TEX} = \left\{ \left[\delta \left(\frac{\Delta \rho_0}{\rho_0} \right) \right]^2 - \left[\delta \left(\frac{\Delta K_{\phi}}{K_{\phi}} \right) \right]^2 \right\}^{0,5};$$

$$\delta \left(\frac{\Delta K_{\phi}}{K_{\phi}} \right) = \frac{|\delta(\Delta b)| [1 + (K_{\phi})^{-2}]^{0,5} 100\%}{b},$$

b – выбирается больше наибольшего из двух величин b_{\min} и b_p .

Дробное значение n_c округляется до большего целого числа. Если расчетное значение l_c меньше l_{\min} , то длина дополнительной секции принимается равной l_{\min} . В этом случае корректируется ширина резистора и длина основной секции

$$b' = \frac{b l_{\min}}{l_c} \quad (3.17)$$

$$l_0 = \frac{l_0 b'}{b}. \quad (3.18)$$

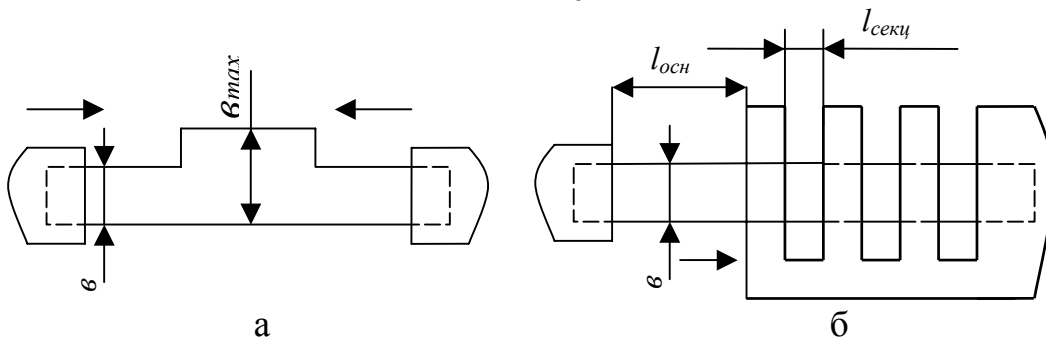


Рис. 3.3. Конструкция резисторов повышенной точности; с плавной (а) и ступенчатой (б) подгонкой сопротивления. Стрелками показаны места и направления перерезания пленок при подгонке.

3.1.4. Пленочные конденсаторы

Типовая конструкция пленочного конденсатора показана на рис. 3.4. Характеристики некоторых материалов пленочных конденсаторов приведены в прил.IV. Для изготовления тонкопленочных конденсаторов с

емкостью 10-1000 пФ широко используют моноокись кремния; применение монооксида германия или электровакуумного стекла С44-I позволяет изготовить конденсаторы с емкостью до 10.000 пФ. В микросхемах, изготавливаемых по танталовой технологии [4] в качестве диэлектрика используется пятиокись тантала, полученная электрохимическим анодированием нижней обкладки конденсатора; при этом удается получить емкость до 0,1 мкФ. Для изготовления диэлектрических паст конденсаторов толстопленочных ГИС используют керамический материал Va-2 (ГОСТ 5458-64) и флюс №6 (ТУ 17 РСФСР 4275-70). В зависимости от рецептуры получают пасту ПК 1000-30, применяемую для изготовления конденсаторов с емкостью до 500 пФ, а также пасту ПК-12, обеспечивающую получение конденсаторов с емкостью до 5000 пФ.

Емкость пленочного конденсатора в пикофарадах определяется по формуле

$$C = 0,0885 \frac{\varepsilon S_0}{d} = C_0 S_0 \quad (3.19)$$

где ε - относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика;

$S_0 = LB$ - площадь взаимного перекрытия обкладок, см²;

d - толщина диэлектрика, см;

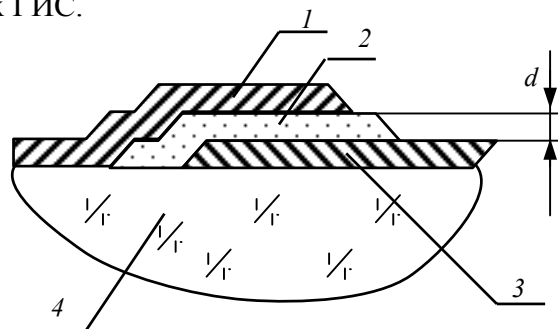
C_0 - удельная емкость, пФ/см².

Для уменьшения погрешности емкости рекомендуется проектировать конденсаторы квадратной формы, $S_0 \geq 5 \text{ мм}^2$.

Исходными данными для расчета конденсатора являются:

- номинальная величина ёмкости C , пФ;
- допустимое отклонение фактической величины емкости от номинала $\pm \delta(\Delta C/C), \%$;
- рабочее напряжение U_p , В;
- коэффициент запаса электрической прочности K_3 ($K_3 \approx 2-10$, при повышенных требованиях к надежности следует выбирать большие значения K_3 из рекомендованного диапазона);
- условия эксплуатации и хранения: T_{\min} , T_{\max} , K , $t_{\text{раб}}$, или $t_{\text{хр}}$, ч;
- конструктивно-технологические ограничения: рекомендуемые толщины диэлектрика d_{\min} и d_{\max} , мкм (см. прил. IV);
- погрешность воспроизведения заданной толщины $\pm \delta \left(\frac{\Delta d}{d} \right) = \pm (5-10)\%$; суммарная площадь взаимного перекрытия обкладок

конденсаторов на плате не должна превышать 2 см², минимальная площадь обкладок - 1 мм²; нижняя обкладка должна выступать за край верхней не менее чем на 200 мкм для тонкопленочных ГИС и на 300 мкм для толстопленочных, диэлектрик должен выступать за край нижней обкладки не менее чем на 100 мкм для тонкопленочных и на 200 мкм для толстопленочных ГИС.



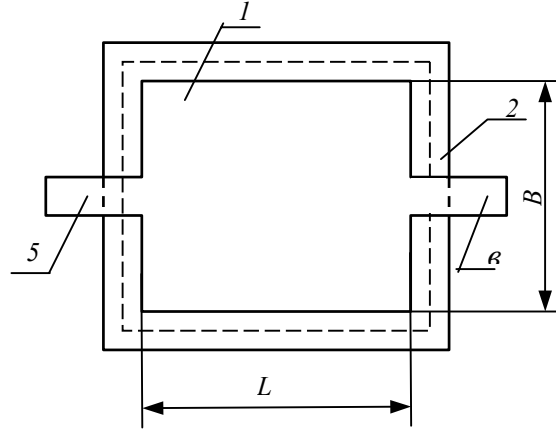


Рис 3.4. Конструкция пленочного конденсатора. 1 – верхняя обкладка, 2 – диэлектрический слой, 3 – нижняя обкладка, 4 – подложка, 5 и 6 – выводы.

Для выбранного материала диэлектрика по прил. IV определяются характеристики: среднее значение $\bar{\varepsilon}$ и допуск $\pm \delta\left(\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon}\right)$; электрическая прочность E_{np} ; температурный коэффициент емкости (ТКЕ); среднее значение $\bar{\alpha}_\varepsilon$ и допуск $\pm \delta(\Delta\alpha_\varepsilon)$; и среднее значение $\bar{K}_{CT\varepsilon}$ и допуск $\pm \delta(\Delta\alpha_\varepsilon)$ коэффициента старения.

Расчет конденсатора начинают с определения допустимой геометрической составляющей погрешности емкости (при $L = B$)

$$\delta_{\Sigma\partial\partial\partial} = \delta\left(\frac{\Delta L}{L}\right)_{\partial\partial\partial} = \delta\left(\frac{\Delta B}{B}\right)_{\partial\partial\partial} = \left\{ \left[\delta\left(\frac{\Delta C}{C}\right)_{\Sigma\partial\partial\partial} \right]^2 - \left[\delta\left(\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon}\right) \right]^2 - \left[\delta\left(\frac{\Delta d}{d}\right) \right]^2 - \left[\delta(\Delta K_{CT\varepsilon}) t_{\text{раб}} 100\% \right]^2 - \left[\delta(\Delta\alpha_\varepsilon) \Delta T 100\% \right]^2_{\max} \right\}^{0,5}, \quad (3.20)$$

где $[\delta(\Delta\alpha_\varepsilon)\Delta T \cdot 100\%]_{\max}$ – максимальное значение случайной составляющей погрешности при изменении температуры; выбирается большее значение из двух: $|\delta(\Delta\alpha_\varepsilon)(T_{\max} - T_{\text{н}})100\%|$ или $|\delta(\Delta\alpha_\varepsilon)(T_{\min} - T_{\text{н}})100\%|$;

$\delta\left(\frac{\Delta C}{C}\right)_{\Sigma\partial\partial\partial}$ – допустимая величина случайной составляющей поля допуска определяется аналогично $\delta\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{\Sigma\partial\partial\partial}$ по формулам (3.3) и (3.4); при этом необходимо R заменить на C, $\bar{\alpha}_{\rho_0}$ на $\bar{\alpha}_\varepsilon$, $\bar{K}_{CT\rho_0}$ на $\bar{K}_{CT\varepsilon}$.

Расчетное значение толщины диэлектрического слоя $d_{\text{расч}}$ определяется из следующего условия: $d_{\text{расч}}$ должно быть больше наибольшей из трех величин d_{\min} , d_U , d_δ , где d_U – минимально допустимое значение толщины, определяемое рабочим напряжением; d_δ – минимально допустимое значение толщины, определяемое допустимой геометрической составляющей погрешности. С другой стороны, $d_{\text{расч}}$ не должно превышать d_{\max} .

$$d_U = \frac{U_p K_3}{E_{np}}; \quad (3.21)$$

$$d_{\delta} = \frac{0,354\bar{\varepsilon}[\delta(\Delta L)]^2}{C\left(\frac{\delta s_{don}}{100\%}\right)^2} \left[1 + \frac{\delta\left(\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon}\right)}{100\%}\right], \quad (3.22)$$

где C - емкость, пФ; $\delta(\Delta L)$, см.

Если d_u или d_{δ} превышает d_{max} , то следует выбрать другой материал диэлектрического слоя.

Площадь взаимного перекрытия обкладок определяется из формулы (3.19)

$$S_0 = \frac{Cd_{расч}}{0.0885\varepsilon}. \quad (3.23)$$

Если известны \bar{C}_0 и допуск $\pm\delta\left(\frac{\Delta C_0}{C_0}\right)$ для заданных рабочих напряжений, то методика расчета конденсатора может быть значительно упрощена.

3.1.5. Межслойная изоляция

Электрическая изоляция между пересекающимися проводниками, расположенными в различных слоях (уровнях) ГИС, осуществляется с помощью межслойной изоляции.

При производстве тонкопленочных ГИС для межслойной изоляции широко используются моноокиси кремния (прил. IV) толщиной 2-4 мкм. Допустимая площадь перекрытия пересекающихся проводников - не более 100x100 мкм, минимальный размер изолирующего слоя - 300x300 мкм. Такие же слои используются для изоляции между проволочными проводниками и пленочными элементами, для защиты пленочных резисторов и конденсаторов или всей платы за исключением контактных площадок.

При изготовлении толстопленочных ГИС для межслойной изоляции применяют пасты, включающие стекло марки 660^a (ТУ10-3) и глинозем ГК (ГЭВ) (ГОСТ 6912-64). Паста ПД-1 применяется для межслойной изоляции толщиной 60-70 мкм. При этом обеспечивается удельная емкость не более 100 пФ/см² и пробивное напряжение не менее 500 В. Минимальный размер отверстия в межслойной изоляции для соединения двух уровней металлизации - 600x600 мкм. Для защиты поверхности платы применяется паста ПД-3.

3.1.6. Навесные компоненты

В ГИС применяются бескорпусные полупроводниковые приборы и микросхемы, а также конденсаторы. В прил. V, табл. V.1 приведены некоторые характеристики бескорпусных полупроводниковых приборов и микросхем; на рис. 3.5, 3.6 представлены габаритные чертежи и расположение выводов. Характеристики бескорпусных конденсаторов и их габаритные чертежи приведены в табл. V.2 и на рис. 3.7.

Различают навесные компоненты с гибкими (проволочными) или с жесткими (столбиковыми, шариковыми, балочными) выводами. Гибкие выводы из золотой проволоки диаметром 30-60 мкм соединяются с соответствующими контактными площадками с помощью сварки или пайки (используют припой ПОС к -50-18 ГОСТ 1499-70 и ПС рОС-3-58 ТУ № 48-

1-338-74). Механическое закрепление компонентов осуществляется путем приклеивания их к плате или основанию корпуса клеем на основе эпоксидной смолы ЭД5 (ГОСТ 10587-63). Компоненты, установочная поверхность которых металлизирована, могут припаиваться к металлизированным участкам платы или основанию корпуса. При этом существенно улучшается тепловой режим компонентов. Монтаж компонентов путем припайки жестких выводов к соответствующим площадкам платы позволяет автоматизировать сборку ГИС.

3.2. Защита ГИС от внешних воздействий

Защита ГИС от внешних воздействий осуществляется путем помещения плат с элементами и компонентами в металлостеклянные, металлокерамические, металлополимерные или пластмассовые корпуса.

В прил. VI приведены размеры и характеристики металлостеклянных корпусов ГИС. Плата закрепляется на основании корпуса с помощью клея на основе эпоксидной смолы ЭД5 или эпоксидно-крезольного лака ЭП-91 (МРТУ6-10-530-67). После монтажа платы и компонентов крышка приваривается к основанию корпуса.

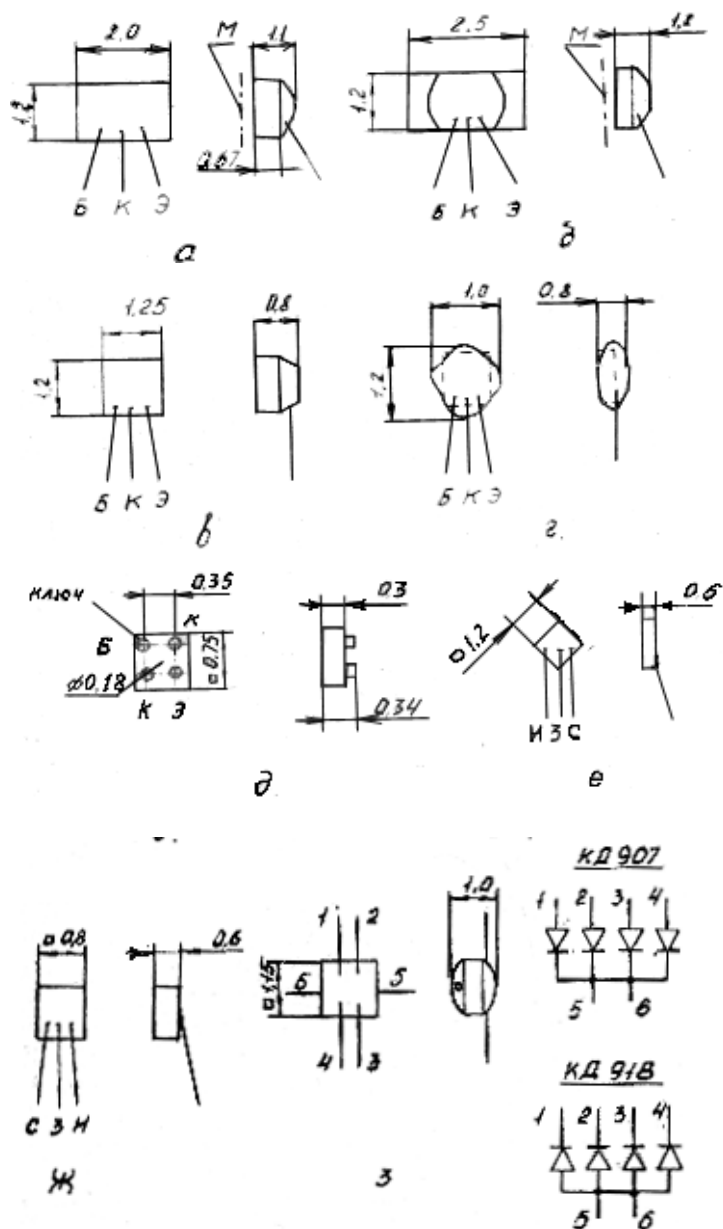


Рис. 3.5. Габаритные чертежи полупроводниковых приборов: а – 2Т625 – 2 (М-металлизированная поверхность контакта к коллектору); б – КТС 394, КТС 395; в – 2Т360; г – 2Т354; д – КТ379, КТ380; е – 2П201; ж – 2ПС202; з – КД907, КД918.

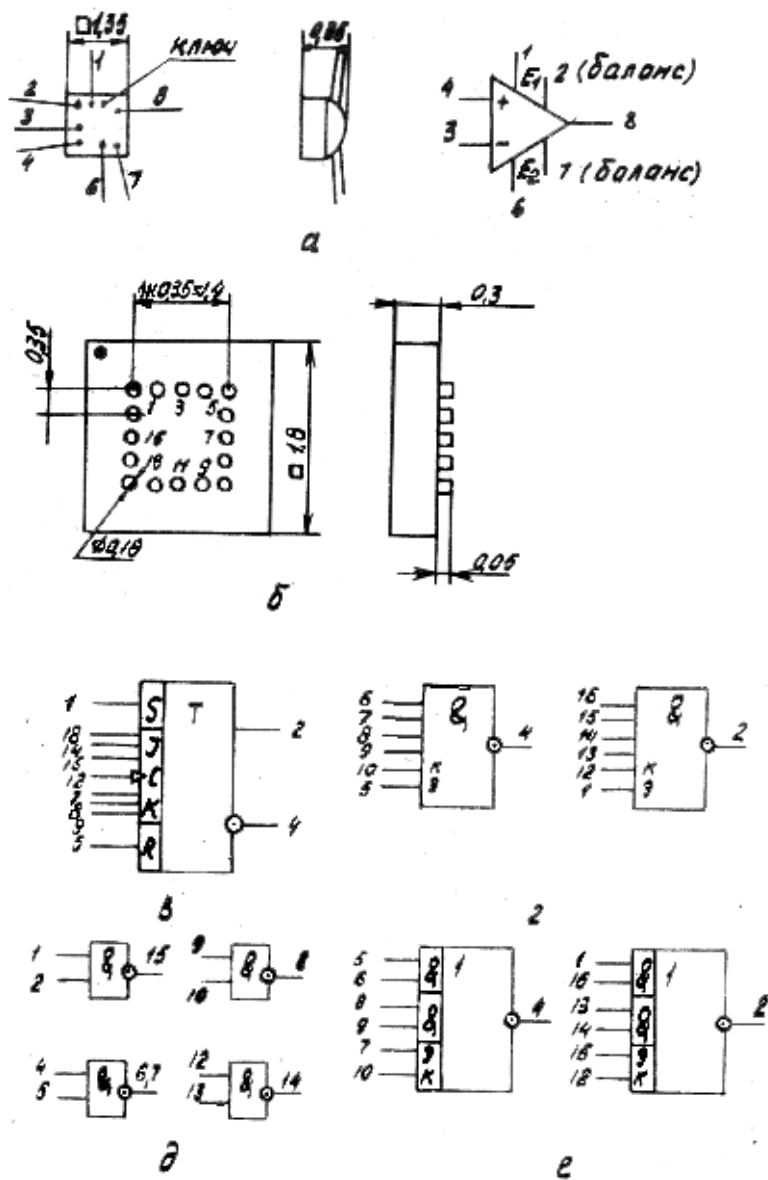


Рис. 3.6. Габаритные чертежи ИПС: а – 740УД4 – I; б – ИПС серии 703 (3 – общий, II – E = +5В; для ИС 7ТКО31 10 и 11 – E = +5В); в – 7ТКО31; г – 7ЛБО31; д – 7ЛБО33; е – 7ЛРО31.

3.3. Разработка топологии ГИС.

3.3.1. В процессе разработки топологического чертежа (чертежа платы) определяется взаимное расположение и форма пленочных элементов, рассчитываются их геометрические размеры, выбираются места расположения навесных площадок.

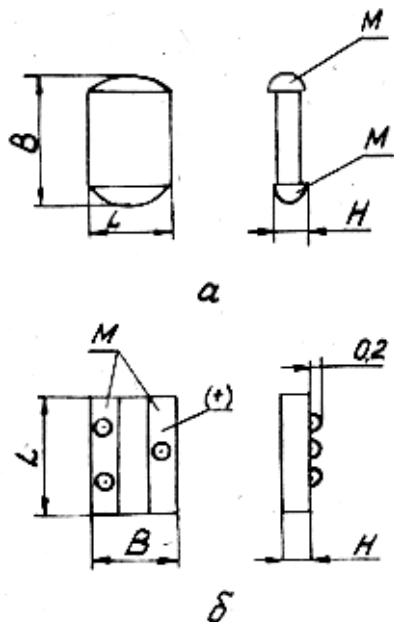


Рис.3.7. Габаритные чертежи конденсаторов: а - К10-9; б - К53-15
(М - облуженные контактные поверхности).

Исходными данными для разработки являются технические требования и конструктивно-технологические данные и ограничения. Ниже приведена типовая последовательность слоев, наносимых на плату :

- 1-й слой – резистивный;
- 2-й слой – выводы резисторов, контактные площадки, часть проводников;
- 3-й слой – диэлектрик в местах пересечения проводников;
- 4-й слой – часть проводников;
- 5-й слой – нижние обкладки конденсаторов и часть проводников;
- 6-й слой – диэлектрик конденсаторов;
- 7-й слой – верхние обкладки конденсаторов и часть проводников;
- 8-й слой – защитный диэлектрик.

При проектировании тонкопленочных ГИС учитывают основные ограничения: перекрытие для совмещения элементов, расположенных в разных слоях, не менее 200 мкм при масочном и не менее 100 мкм при фотолитографии; минимально допустимые размеры контактных площадок для припайки 400x400 мкм, для контроля параметров элементов 200x200 мкм (для монтажа компонентов с жесткими выводами допускаются размеры площадок 250x250 мкм при зазоре между ними 100 мкм); навесные компоненты устанавливают на расстоянии не менее 0.5 мм от пленочных конденсаторов и других пленочных элементов, не защищенных диэлектриком, и менее 0,6 мм от контактных площадок при минимальном расстоянии между компонентами 0,3 мм (допускается устанавливать компоненты с гибкими выводами на проводниках и маломощных

резисторах, защищенных диэлектриком); длина проволочных выводов навесных компонентов должна находиться в пределах 0,5-5 мм, компоненты и пленочные элементы, к точности которых предъявляя жесткие требования, располагаются на расстоянии не менее 0,7 мм от края подложки, остальные элементы – на расстоянии не менее 0,5 мм; минимально допустимое расстояние между пленочными элементами, (в том числе контактными площадками) – 0,2мм; минимальная ширина пленочных проводников составляет 100 мкм при масочном и 50 мкм – фотолитографическом методах; расстояние от границы диэлектрика до контактной площадки – не менее 0,5 мм.

При проектировании толстопленочных ГИС учитывают следующие ограничения: минимальное расстояние от края платы до пленочного элемента – 0,1 мм, от края платы до отверстий под внешние выводы – 0,5 мм, между пленочными элементами – 0,2 мм; минимальная ширина пленочных проводников – 0,2 мм при нанесении пасты на подложку и 0,3 мм при нанесении пасты на диэлектрический слой; минимальные размеры контактных площадок – 0,3x0,4 мм; размеры контактных площадок для монтажа конденсаторов с жесткими выводами должны на 0,2 мм превышать размеры контактов конденсаторов; минимальное перекрытие элементов в разных слоях – 0,1 мм; минимальный размер отверстия в межслойной изоляции для соединения двух уровней металлизации – 0,6 мм; остальные ограничения аналогичны тем, что приведены для тонкопленочной технологии.

Выделенная на электрической схеме часть устройства реализуется в виде бескорпусной ИПС (размер кристалла 1x1 мм), конструкция которой аналогична конструкции полупроводниковых приборов и ИПС, описанных в 3.1.6.

3.3.2. Разработка топологии выполняется в несколько этапов. На первом этапе проводится преобразование электрической схемы, из которой исключаются компоненты; выводы последних заменяются контактными площадками. Схема перечерчивается таким образом, чтобы уменьшить число пересечений проводников и сократить их длину. Переработанная принципиальная схема носит название коммутационной схемы.

На втором этапе выбираются материалы, форма пленочных элементов и рассчитываются их размеры по методикам 3.1.

На следующем этапе определяется ориентировочная площадь платы

$$S_n = K_{ипс} \left(\sum_{i=1}^{n_R} S_{Ri} + \sum_{i=1}^{n_C} S_{Ci} + \sum_{i=1}^{n_K} S_{Ki} + \sum_{i=1}^{n_H} S_{Hi} \right),$$

где $K_{ипс}$ = 2-3 - коэффициент использования площади платы;

S_{Ri} , n_R - площадь i -го резистора и количество резисторов;

S_{Ci} , n_C - площадь i -го конденсатора и количество конденсаторов;

S_{Ki} , n_K - площадь i -й контактной площадки и их количество;

S_{Hi} , n_H - установочная площадь i -го навесного компонента, устанавливаемого на свободной от элементов поверхности платы, и их количество.

Используя результат оценки необходимой площади платы, выбирают размеры платы и корпус ГИС (прил. VI).

Следующим этапом разработки топологии является размещение пленочных элементов на плате и прокладка соединительных проводников.

Следует проектировать элементы наиболее простой формы; придание элементам форм, состоящих из отрезков прямых, не параллельных осям координат (угол наклона должен быть кратным 15^0), допустимо лишь в тех случаях, когда это приводит к значительному упрощению топологии и уменьшению размеров платы.

Вычерчивание эскиза платы рекомендуется проводить на миллиметровой бумаге в масштабах увеличения, кратных 10 (10:1, 20:1 и т.д.).

3.3.3. На последнем этапе конструирования ГИС разрабатывается эскиз конструкции микросхемы, отражающий расположение платы и навесных компонентов в корпусе, а также проводится оценка паразитных связей [1,7] тепловых режимов элементов и компонентов и расчет проектной надежности [1].

3.4. Тепловой режим ГИС

3.4.1. При разработке конструкции ГИС большое внимание уделяется обеспечению нормального теплового режима элементов и компонентов, так как от их температуры существенно зависит надежность микросхем. Для уменьшения температуры элементов и компонентов рекомендуется: выбирать невысокие значения ($10-20 \text{ кВт/мм}^2$) удельной рассеиваемой мощности P_0 ; применять подложки с высокой теплопроводностью; осуществлять хороший тепловой контакт компонентов с подложкой (уменьшение толщины слоя клея, припайка компонентов к металлизированным участкам платы или к основанию корпуса); равномерно распределять по подложке источники тепла; чувствительные к температуре элементы и компоненты располагать за пределами зон теплового влияния источников с повышенным тепловыделением.

3.4.2. Оценку теплового режима ГИС в металлостеклянном корпусе можно осуществить, используя методику [1].

Температура i -го элемента (компонента) определяется выражением

$$T_i = T_c + \theta_k + \sum_{j=1}^n \theta_{ji}, \quad (3.24)$$

где T_c - температура окружающей среды;

θ_k - перегрев корпуса относительно T_c (зависит от способа монтажа ГИС в аппаратуру и составляет обычно 5-10 К);

θ_{ji} - составляющая перегрева i -го элемента (первый индекс - номер источника тепла, второй - приемника тепла; перегрев θ_{ii} , обусловленный мощностью, рассеиваемой i -м элементом, называют собственным).

Для полупроводниковых приборов и ИПС определяется также температура p - n - переходов

$$T_{BHi} = T_i + \theta_{BHi}, \quad (3.25)$$

где $\theta_{BHi} = P_i R_T b_{Hi}$ - внутренний перегрев i -го компонента, рассеивающего мощность P_i ;

$R_T b_{Hi}$ - внутреннее тепловое сопротивление компонента

(прил. V), учитывающее способ его закрепления (для кристалла разрабатываемой бескорпусной ИПС $R_{ТВН} = 1 \text{ К/мВт}$, максимальная температура p - n - переходов - 418К).

Собственный перегрев элемента (компонента) определяется выражением

$$\theta_{ii} = P_i R_{Ti \max} \gamma(r, q) = \frac{P_i l \gamma(r, q)}{\lambda S_i}, \quad (3.26)$$

где $R_{Ti \max}$ – максимальное тепловое сопротивление i -го элемента;

λ – теплопроводность подложки;

S_i – площадь i -го элемента;

$$l = h_n + \frac{\lambda_{hk}}{\lambda_k} - \text{эквивалентная толщина подложки (при } \frac{\lambda_k}{\lambda} = 0.1-1.0 \text{ и } \frac{h_k}{h_n} = 0.1-0.3);$$

λ_k – теплопроводность клея, закрепляющего плату в корпусе ($\lambda_k \approx 0.3 \text{ Вт/м.К}$);

h_n, h_k – толщина платы и слоя клея, соответственно ($h_k \approx 0,1 \text{ мм}$);

$\gamma(r, q)$ – функция, зависящая от относительных размеров элемента

$$\gamma = \frac{\Delta_1}{2l}; q = \frac{\Delta_2}{2l};$$

Δ_1, Δ_2 – размеры i -го элемента;

График функции $\gamma(r, q)$ показан на рис. 3.8. (функция симметрична относительно γ и q).

Фоновый перегрев, обусловленный тепловыми потоками соседних элементов (компонентов), определяется выражением

$$\theta_{ji} = \frac{P_j l}{4 \lambda S_i} [\gamma(r_1, q_1) + \text{sign}(q_2) \text{sign}(\gamma_2) \gamma(|r_2|, |q_2|) + \text{sign}(q_2) \gamma(r_1, |q_2|) + \text{sign}(r_2) \gamma(q_1, |r_2|)]; \quad (3.27)$$

$$\text{где } q_1 = \frac{\Delta_1}{2l} + \left| \frac{x_0}{l} \right|, \quad q_2 = \frac{\Delta_1}{2l} - \left| \frac{x_0}{l} \right|;$$

$$r_1 = \frac{\Delta_2}{2l} + \left| \frac{y_0}{l} \right|, \quad r_2 = \frac{\Delta_2}{2l} - \left| \frac{y_0}{l} \right|;$$

Δ_1, Δ_2 – размеры j -го элемента (источника тепла);

x_0, y_0 – координаты i -го элемента (приемника тепла) относительно центра j -го элемента (координаты определяются до ближайшей к центру j -го элемента точки i -го элемента);

$\text{sign } a = +1$ при $a > 0$;

$\text{sign } a = -1$ при $a < 0$;

$\text{sign } a = 0$ при $a = 0$.

Значения функций в формуле (3.27) определяются из рис. 3.8.

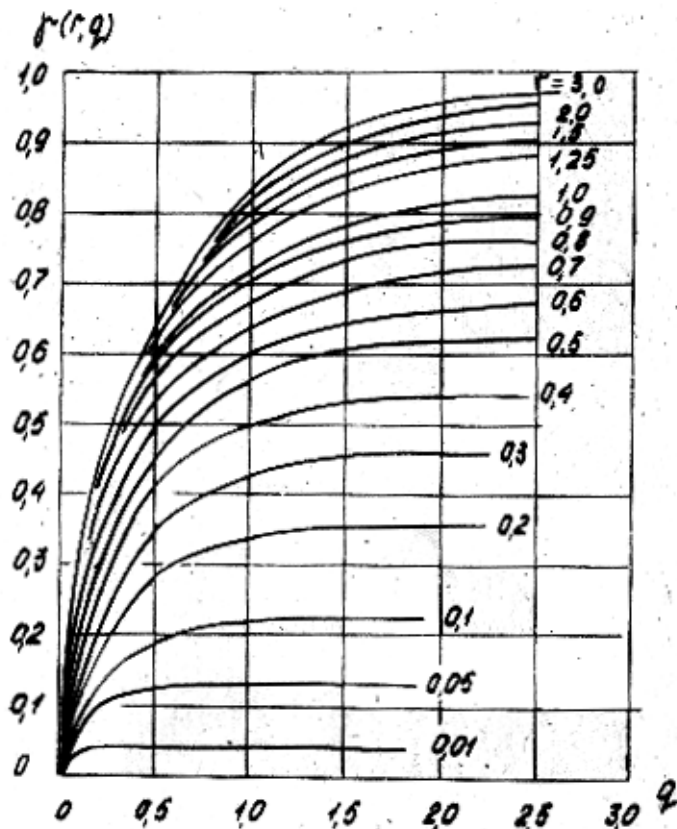


Рис. 3.8. График функции $Y(r, q)$.

При проведении оценки теплового режима элементов и компонентов ГИС можно не учитывать перегрев корпуса относительно окружающей среды θ_k ; при необходимости можно рассчитать, используя методику [8].

Расчитанные величины температуры элементов и компонентов сравниваются с допустимыми. Допустимые рабочие температуры для компонентов приведены в прил. V, для пленочных конденсаторов в прил. IV. Для пленочных резисторов максимальная допустимая температура составляет 423К. Если расчетная температура превышает допустимую, необходимо переработать конструкцию ГИС с учетом рекомендаций 3.4.1.

Для расчета теплового режима ГИС можно использовать стандартную программу АТРИС-1 [9].

3.5. Правила оформления конструкторской документации на ГИС.

В основной комплект конструкторской документации на ГИС входят: спецификация, сборочный чертеж ГИС, схема электрическая принципиальная, технические условия (или пояснительная записка), топологический чертеж платы.

Спецификация составляется в соответствии с ГОСТ 2.108-68.

Сборочный чертеж ГИС оформляется по общим правилам, установленным ГОСТ 2.109-69, и должен содержать достаточное число видов, проекций, сечений и разрезов для того, чтобы показать взаимное расположение всех составных частей ГИС и способы их закрепления. В технических требованиях, приводимых на чертеже, должны содержаться сведения о сборке, окраске, маркировке изделия и ссылки на документы, регламентирующие характеристики ГИС и способы их измерения. На поле

чертежа помещают таблицу с указанием координат мест установки компонентов (левый нижний угол компонента), форма которой показана на рис. 3.9 (допускается погрешность установки 0,1 – 0,5 мм).

Схема электрическая принципиальная выполняется в соответствии с ГОСТ 2.701-76, 2.702-75, 2.708-72. На схеме изображаются в виде условных графических обозначений элементы, компоненты, проводники и контактные площадки. Нумерация контактных площадок должна соответствовать принятой на топологическом чертеже.

Каждому элементу схемы присваивается буквенно-цифровое позиционное обозначение. Последовательность присвоения порядковых номеров позиционным обозначениям должна соответствовать последовательности расположения условных графических обозначений элементов на схеме, считая сверху вниз в направлении слева направо. Все элементы и компоненты вносятся в перечень элементов, располагаемый на поле схемы и выполняемый по форме, приведенной на рис. 3.10. Последовательность записи в перечень определяется ГОСТ 2.702-72. Для элементов графа “Обозначение” прочеркивается, в графу “Наименование” вписывают наименование элемента, номинал основного параметра и допуск, максимальную мощность рассеяния (для резисторов) или максимальное рабочее напряжение (для конденсаторов). В графу “Примечание” следует вписывать обозначение чертежа платы, в которую входит данный элемент. Для компонентов в графу “Наименование” вписывают наименование компонента и обозначение стандарта или технических условий на данный компонент. Если компонент применяется по спецификации или чертежу (например, субплата с комплексом однотипных пленочных элементов), то в графе “Обозначение” записывают обозначение основного конструкторского документа на данный компонент.



Рис. 3.9. Форма таблицы координат установки компонентов.

Топологический чертеж платы выполняется в соответствии с ГОСТ 2.417-68 в масштабах, кратных десяти, т.е. 10:1, 20:1 и т.д. Чертежу присваивается наименование “Плата” и обозначение с десятичной характеристикой 7.100 или 7.107 в соответствии с [10]. В графе 3 основной надписи указывается материал подложки или обозначение чертежа заготовки (десятичная характеристика 7.810). Топологический чертеж следует, как правило, выполнять на нескольких листах. На первом листе изображается плата со всеми нанесенными слоями с указанием позиционных обозначений элементов, на последующих листах помещается изображение каждого слоя. На каждый слой на первом листе чертежа наносят штриховку (условное обозначение слоя). Вид штриховки

расшифровывается в таблице, форма которой показана на рис. 3.11. На изображении контактных площадок на первом листе должны быть проставлены их номера. Нумерация внешних контактных площадок должна соответствовать нумерации выводов корпуса. Соответствие должно сохраняться и в том случае, когда используются не все выводы корпуса. Нумерация внутренних контактных площадок, служащих для подключения выводов компонентов и для контроля элементов, должна являться продолжением нумерации внешних площадок; порядок нумерации – снизу вверх в направлении слева направо, если первая площадка расположена в левом нижнем углу платы.

185					
18 8	ПОЗ. ОБОЗН.	ОБОЗНАЧЕНИЕ	НАИМЕНОВАНИЕ	КОЛ.	ПРИМЕЧАНИЕ
	A3	T54.204.122	Плата – 3	1	
	C2	—	Конденсатор 100пФ±20% 10В	1	Входит в T57.107.125
	R6-R8	—	Резистор 3кОм±20% 0,1Вт	3	тоже
	VT1		Транзистор 2Т354АСБО.336.038	1	
	20	50	70	10	

Рис. 3.10 Форма перечня элементов.

185								
18 15	10	№ слоя	Условные обозначения слоя	Наименование слоя	Материал слоя		Электрические характеристики слоя	Номер листа чертежа
					Наименование	ГОСТ, ТУ		
		1		Резистор	Сплав №3	ОЖО.021.000ТУ	$\bar{\rho}_o = 350$ Ом/а	2
		10	30	30	30	35	30	

Рис. 3.11 Форма таблицы характеристик слоев.

110							
18 8	№ изменения	Поз. обозначения	Точки измерения	Проверяемый номинал и допуск	№ точки	Координаты	
						X	Y
	1	R5	8 – 10	7,5 кОм±10%	15	20	20
	10	30	30				

а

10		

б

Рис. 3.12 Форма таблиц: а – электрические параметры элементов, б – координаты вершин элементов.

На чертеже платы помещаются данные по значениям электрических параметров элементов в виде таблицы, показанной на рис. 3.12.а. На первом листе чертежа помещаются также технические требования: требования к точности выполнения подложки и элементов, ссылки на таблицы с характеристиками слоев и параметрами элементов, требования к внешнему виду платы.

Конфигурация элементов каждого слоя платы и их размеры приводятся на последующих листах чертежа. Задание размеров рекомендуется производить координатным методом в таблице, показанной на рис. 3.12.б. В этом случае вершины элементов нумеруются в пределах одного листа, сквозной нумерацией, причем нумерацию каждого элемента следует начинать от нижней левой вершины и продолжать по часовой стрелке. Переход от элемента к элементу при нумерации осуществляется от нижнего левого угла снизу вверх по направлению слева направо. В таблицах следует отделять жирной линией координаты, относящиеся к разным элементам. На последующих листах могут помещаться специфические технические требования, относящиеся только к данному слою. Нумерация пунктов таких требований должна продолжать нумерацию пунктов на первом листе чертежа платы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ермолаев Ю.П., Пономарёв М.Ф., Крюков Ю.Г. Конструкции и технология микросхем. – М.: Сов. Радио, 1980. – 256 с.
2. Ефимов И.Е., Горбунов Ю.И., Козырь И.Я. Микроэлектроника. Физические и технологические основы, надежность. – М.: Высш. школа, 1977. – 416 с.
3. Ефимов И.Е., Горбунов Ю.И., Козырь И.Я. Микроэлектроника. Проектирование, виды микросхем, новые направления. – М.: Высш. школа, 1978. – 312 с.
4. Черняев В.Н. Технология производства интегральных микросхем. – М.: Энергия, 1977. – 376 с.
5. Попов В.П. Методические указания к расчетно-графическим работам по конструированию микросхем. – Таганрог: ТРТИ, 1973. – 77 с.
6. СТП-500У-74. Стандарт предприятия. Общие технические и конструктивные требования к блокам радиоэлектронной аппаратуры. – Таганрог: ТРТИ, 1974. – 11 с.
7. Механцев Е.Б. Расчет гальванических и емкостных связей в системах с плоскими электродами. Учебное пособие. – Таганрог: ТРТИ, 1977. – 40 с.
8. Механцев Е.Б. Основы анализа тепловых режимов РЭА. Лекции по курсу “Теоретические основы конструирования и надежности РЭА”. – Таганрог: ТРТИ, 1976. – 54 с.
9. Программа анализа теплового режима интегральных схем на ЭВМ М6000 – “АТРИС - 1”. Инструкция по пользованию. - Таганрог: ТРТИ, 1981. – 6 с.
10. Междуведомственная нормаль. Система чертежного хозяйства, часть 4. Обозначение конструкторских документов. Н0.000.005.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1
МАТЕРИАЛЫ ПОДЛОЖЕК ГИС**

Характеристика материала	Материал				
	Стекло С48-3, НПО.027.600	Ситалл СТ50-1, ОСТПО. 094.022-72	Керамика 22ХС, аЮ.027. 002ТУ	Керамика глазурованная ШИО.781 001ТУ	Керамика на основе окси берилля «Брокерит-3» НТХО.027. 023
Класс чистоты поверхности	14	13 – 14	12	14	12
Температурный коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10, I/K$	4,8	5,0	6,0	7,6	6,1
Теплопроводность $\lambda, Вт/(м \cdot К)$	0,84 – 1,34	1,43	8,40	1,05 – 1,47	210,00
Относительная диэлектрическая проницаемость на частоте 1МГц	3,7 – 8,0	8,5	10,3	13,0 – 16,0	6,3
Тангенс угла диэлектрических потерь на частоте 1 МГц $tg\delta \cdot 10^4$	15	20	6	20	3 – 6
Электрическая мощность, кВ/мм	40	40	50	50	50
Удельное сопротивление, Ом·см	10^{17}	10^{15}	10^{14}	10^{14}	10^{15}
Температура размягчения, К	1020	990	1870	1870	1870

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
МАТЕРИАЛЫ ПЛЕНОЧНЫХ ПРОВОДНИКОВ ГИС

Материалы	Толщина слоя, нм	Удельное поверхностное сопротивление, Ом/а	Способ контактирования с проволочными проводниками
Подслой – нихром Х20Н80, ГОСТ 12766-67 Слой – алюминий А99, ГОСТ 11069-74	10 – 30 300 – 600	0,08 – 0,16	Пайка, сварка
Подслой – нихром Х20Н80, ГОСТ 12766-67 Слой – алюминий А99, ГОСТ 11069-74 Покрытие – никель, МРТУ 14-14-46-65	40 – 50 250 – 370 50	0,1 – 0,2	Пайка, сварка
Подслой - нихром Х20Н80, ГОСТ 12766-67 Слой – медь МВ, ТУ11Яе 0.21.040-72 Покрытие – никель, МРТУ 14-14-46-65	10 – 30 600 – 800 80 – 120	0,02 – 0,04	Сварка
Подслой - нихром Х20Н80, ГОСТ 12766-67 Слой – медь МВ, ТУ11Яе 0.21.040-72 Покрытие –золото Зл 999,9, ГОСТ 6835-72	10 – 30 600 – 800 50 – 60	0,02 – 0,04	Пайка, сварка
Подслой – нихром Х20Н80, ГОСТ 12766-67 Слой – золото Зл 999,9, ГОСТ 6835-72	10 – 30 600 – 800	0,03 – 0,04	Пайка, сварка
Паста ПП-1	(10 – 20) 10 ³	0,02 – 0,05	Пайка
Паста ПП-2	(15 – 20) 10 ³	2,00 – 5,00	Пайка
Паста ПП-3	(15 – 25) 10 ³	0,02 – 0,05	Пайка
Паста ПП-4	(15 – 25) 10 ³	0,02 – 0,05	Пайка

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3
МАТЕРИАЛЫ ПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ ГИС**

Материал резистивного слоя	Материалы контактных площадок	Поверхностное сопротивление		Максимально допустимая удельная мощность рассеяния P_0 , МВт/мм ²	ТКС в интервале температур 213-398 К		Коэффициент старения	
		Среднее значение $\bar{\rho}_0$, Ом/а	Допуск $\pm \delta \left(\frac{\Delta \rho_0}{\rho} \right)$, %		Среднее значение $\bar{\alpha}_{\rho_0} \cdot 10^{-4}$, 1/К	Допуск 10^{-4} , 1/К, $\pm \delta(\Delta \alpha_{\rho_0})$	Среднее значение $\bar{K}_{CT\rho_0} \cdot 10^{-5}$, 1/ч	Допуск $\pm \delta(\Delta K_{CT\rho_0}) \cdot 10^{-5}$, 1/ч
Тантал ТВЧ, РЭТУ 1244 - 67	Нихром-алюминий, нихром-алюминий-никель	1-100	± 3	30	-1,0	$\pm 0,5$	1,0	$\pm 0,1$
Нихром Х20Н80 ГОСТ 12766-67	Нихром-медь-никель, нихром-медь-золото	300	± 5	20	0	$\pm 1,0$	1,2	$\pm 0,1$
Сплав №3, ОЖО.021.000ТУ	Нихром-золото	350	± 5	10	+0,4	$\pm 0,2$	0	$\pm 0,5$
Кермет К-50С, ЕТО.021.033ТУ	Нихром-медь-золото, нихром-золото, нихром-медь-никель	3000 5000 10000	± 7	20	+3,0 -4,0 -5,0	± 1	0	$\pm 1,0$
Паста ПР	Пасты ПП-1, ПП-3	5,100,500, 1000, 3000, 6000, 20000, 50000	± 10	30	+8	$\pm 2,0$	0	$\pm 3,0$

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
МАТЕРИАЛЫ ПЛЕНОЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ ГИС

Материал диэлектрического слоя	Материал обкладок	Рекомендуемые толщины диэлектрика, мкм	Относительная диэлектрическая проницаемость	Электрическая прочность $E_{пр} \cdot 10^6, V/cm$	Максимальная частота $f_{max}, МГц$	Тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$	ТКЕ в интервале температур		Коэффициент старения		Диапазон рабочих температур, К	
							Среднее значение $\alpha_\epsilon \cdot 10^{-4}, 1/К$	Допуск $\delta(\Delta\alpha_\epsilon) \cdot 10^{-4}, 1/К$	Среднее значение $K_{ст\epsilon} \cdot 10^5, 1/ч$	Допуск $\delta(\Delta K_{ст\epsilon}) \cdot 10^5, 1/ч$		
Монокись кремния, ГОСТ 5634-70	Алюминий	0,3 – 4	5,5	±3	2,0	500	0,01-0,02	2,0	±0,5	0	±4	213 -398
			11	±4	1,0	300	0,005 – 0,007	3,0	±0,5	-1	+0,1	213 -358
Стекло электровакуумное С44-1, ОСТ 11 ПО.094. 022-73	Тантал-нижняя, алюминий-	0,1 – 0,5	5,1	±1	3,0		0,002 – 0,003	1,2	±0,6	0	±3	213–398
			22	±4	2,0	0,1	0,02	3	±1	0	±5	213–398

верхняя обкладка														
ПК1000-30	ПП-1,	20 – 80	200	+4		300								
ПК-12	ПП-3– нижняя, ПП-2– верхняя обкладка		450	±6	0,6	10	0,035	0	±10	±0	±5			213–358

**ПРИЛОЖЕНИЕ 5
БЕСКОРПУСНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ГИС**

Таблица 5.1

Полупроводниковые приборы и микросхемы

Наименование	Обозначение	Масса, мг, не более	Максимальная рассеиваемая мощность мВт, при температуре 293К	Внутреннее тепловое сопротивление, К/мВт	Максимальная температура р-п-переходов, К	Диапазон рабочих температур, К	Габаритный чертеж (рис).
Биполярный транзистор, n-p-n	2Т 625-2, Я53.365.022-ТУ	15	1000	0,05*	408	213 – 358	3.5, а
То же	КТС 395, аАО.336.067-ТУ	50	300	0,10*	423	213 – 358	3.5, б
Биполярный транзистор, p-n-p	КТС 394, АО.336.067-ТУ	50	300	0,10*	423	213 – 358	3.5, б
То же	2Т 360, ЩТО.335.059-ТУ	3	10	7,00	393	233 – 358	3.5, в
Биполярный транзистор, n-p-n	2Т 354, СБО.336.038-ТУ	3	30	1,70	423	213 – 398	3.5, г
То же	КТ 379, аАО.036.030-ТУ	10	25	1,50	373	233 – 358	3.5, д

Продолжение таблицы 5.1

Наименование	Обозначение	Масса, мг, не более	Максимальная рассеиваемая мощность мВт, при температуре 293К	Внутреннее тепловое сопротивление, К/мВт	Максимальная температура р-п-переходов, К	Диапазон рабочих температур, К	Габаритный чертеж (рис)
Биполярный транзистор, р-п-р	КТ 380, аАО.036.028ТУ	10	25	1,50	373	233 - 358	3.5, д
Полевой транзистор n-канал	2П201 ТФ3.365.006ТУ	5	60	1,75	408	213 - 358	3.5, е
Полевой транзистор р-канал	2ПС202 ТФО.336.010ТУ	2	30	3,00	418	213 – 398	3.5, ж
Диодная матрица общим катодом	КД907А-Г, РЗ.362.036ТУ	10	30	2,00	378	213 – 358	3.5, з
То же с общим анодом	КД918А-Г, РЗ.362.022ТУ	10	30	2,00	378	213 – 358	3.5, з
ИПС, операционный усилитель	740УД4-1, БКО.347.021ТУ	10	85	0,40	408	213 – 373	3.6, а
ИПС, JK-триггер	7ТКО31, ЩЦЗ.410.017ТУ	5	90	0,25	423	213 – 398	3.6, в
ИПС, 2 элемента «И-НЕ»	7ЛБО31, ЩЦЗ.402.036ТУ	5	30	0,25	423	213 - 398	3.6, г

Окончание таблицы 5.1

Наименование	Обозначение	Масса, мг, не более	Максимальная рассеиваемая мощность мВт, при тем- пературе 293К	Внутреннее тепловое сопротивление, К/мВт	Максимальная температура p-n-переходов, К	Диапазон рабочих температур, К	Габаритный чертеж (рис)
ИПС, элемента «2И-НЕ»	4 7ЛБ.033, ЩИЗ.402.047ТУ	5	60	0,25	423	213 – 398	3.6, е
ИПС, элемент «2-2И-2ИЛИ- НЕ»	7ЛР031, ЩИЗ.402.046ТУ	5	40	0,25	423	213 – 398	3.6, е

* - при пайке кристалла к металлизированной поверхности

Таблица 5.2
Конденсаторы
(диапазон рабочих температур от 213 до 350 К)

Наименование, обозначение	Диапазон емкостей, мкФ	Размеры, мм			Масса, г, не более	Габаритный чертеж (рис.)
		L	B	H		
Конденсатор керамический К10-9, ОЖО.460.068ТУ (U _p = 15 В)	0,00003-0,001			1,2	0,1	3.7, а
	0,00022-0,1	4,4	5		0,5	
	0,00091-0,47	8,5	10	3,0	1,5	
Конденсатор оксиднополупроводниковый К53-15, ОЖО.464.121ТУ (U _p = 16 В)	1,5; 2,2	5,5	4,5		0,25	3.7, б
	3,3; 4,7			2,3	0,65	
	6,8; 10,0	10,5			1,5	

Приложение 6
КОРПУСА И РАЗМЕРЫ ПЛАТ ГИС
ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРПУСОВ

Обозначение	Количество выводов	Размеры плат, мм		Размеры корпуса, мм		Масса, г, не более	Максимальная рассеиваемая мощность, Вт
		a	b, не более	h _{макс}	h _{1 мин}		
151.15-4, ЦЦИО.487.008ТУ	15	6±0,1	14±0,1	5,0	3,0	2,43	3,3
151.15-6, ЦЦИО.487.008ТУ	15	6±0,1	14±0,1	3,2	1,3	2,43	3,1
155.15-1, ГГО.487.003ТУ	15	22±0,2	16±0,3		3,08	6,5	2

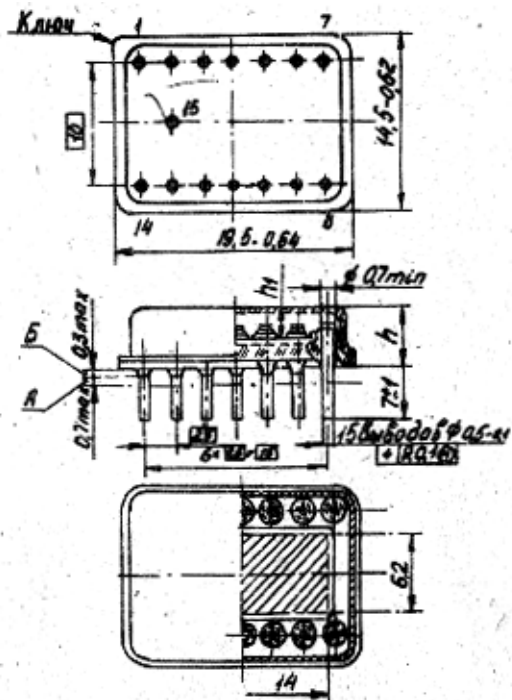


Рис. VI.1. Корпус И51,И5-4 (И51,И5-6)

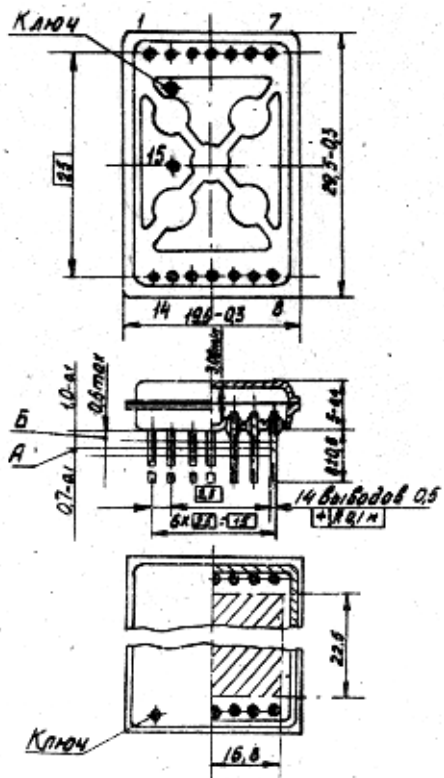


Рис. VI.2. Корпус И55,И5-1

ПРИМЕР РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКЦИИ ГИС

Рассмотрим кратко основные вопросы расчета и разработки топологии ГИС на примере проектирования компаратора, схема которого показана на рис. 7.1. ($T_{\max} = 358K$, $T_{\min} = 233K$, $t_{\text{раб.}} = 1000$ ч). Элементы, выделенные пунктирной линией, реализуются в виде бескорпусной ИПС, обозначаемой как А1. В табл. сведены параметры резисторов компаратора.

Параметры резисторов

Параметр	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
R, кОм	10	2,7	2	2,7	3,6	10	0,6	0,4	2,4
$\delta\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{\text{дон}}, \%$	10	30	30	30	20	10	2,3	10	20
P, мВт	3,77	3,33	7,41	0,83	0,003	0,06	15	10	6,67

Для конденсатора $C = 100$ пФ $\pm 20\%$; $U_p = 0,1$ В. Для транзисторов VT1; VT2; мощность рассеивания равна 1,13 и 1,28 мВт соответственно; для VT3 (2Т354А) – 2,37 мВт.

В качестве материала резисторов ГИС выбираем сплав №3 (прил.3), при этом величины K_ϕ , определенные из формулы (3.2), лежат в пределах 1,143 – 28,571. Проведем расчет для резистора R9 при $\epsilon_{\min} = 100$ мкм, $\delta(\Delta b) = 10$ мкм. По формуле (3.2) определим $K_\phi = \frac{2,4}{0,35} = 6,857$.

Из формул (3.5) - (3.7)

$$M\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{T_{\max}} = 0,4 \cdot 10^{-4} (358 - 293) \cdot 100\% = 0,26\%;$$

$$M\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{T_{\min}} = 0,4 \cdot 10^{-4} (233 - 293) \cdot 100\% = -0,24\%;$$

$$M\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{CT} = 0 \cdot 1000 \cdot 100\% = 0;$$

$$M\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{\Sigma^+} = 0,26\%; \quad M\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{\Sigma^-} = -0,24\%$$

По формуле (3.3) при $\xi = 1,15$ определим

$$\delta\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{\Sigma \text{дон}} = \frac{20}{1,15} - 0,26 = 17,13\%.$$

По формуле (3.8) определим

$$\delta\left(\frac{\Delta K_\phi}{K_\phi}\right)_{\text{дон}} = \left\{ [17,13]^2 - [5]^2 - [0,5 \cdot 10^{-5} \cdot 10^3 \cdot 100]^2 - [0,2 \cdot 10^{-4} (358 - 293) \cdot 100]^2 \right\}^{0,5} = 16,38\%$$

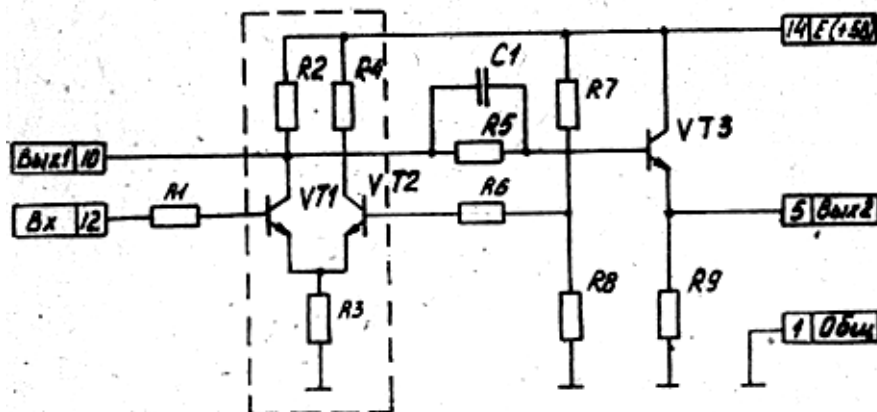


Рис. 7.1. Схема электрическая принципиальная компаратора

Используя формулы (3.9) и (3.10), получим ($K_n = 0,8$)

$$v_{\delta} = \frac{10 \left[1 + \left(\frac{1}{6,857} \right)^2 \right]^{0,5} \cdot 100}{16,38} = 62 \text{ мкм} .$$

$$v_p = \left(\frac{6,67}{10 \cdot 0,8 \cdot 6,857} \right)^{0,5} = 0,112 \text{ мм} = 122 \text{ мкм} .$$

Выбираем $v_{расч} = 130 \text{ мкм} .$

По формуле (3.11) получим

$$l_{расч} = 130 \cdot 6,857 = 891 \text{ мкм} \approx 890 \text{ мкм} .$$

Аналогично рассчитываются резисторы R5 и R8.

Рассчитаем высокоомный резистор R1, спроектировав его в форме «меандра» (см. рис. 3.2, б). Определим по формулам (3.2) и (3.11) $v_{расч} = 150$ мкм, $l_{ср} = 150 \cdot 28,571 = 4285,65 \text{ мкм} .$

По формуле (3.13) рассчитаем число элементов сопряжения

$$n = \sqrt{\frac{28,571}{1+1}} 0,5 = 2,7 \approx 3 .$$

Для П-образных элементов $n = 3 - 1 = 2 .$

По формуле (3.12)

$$l_{\Sigma} = 4285,65 - 150 \cdot 2 \cdot 4 = 3085,65 \text{ мкм} .$$

Тогда длина каждого из трех прямолинейных участков резистора равна $3085,65 : 3 = 1028,55 \approx 1030$ мкм.

Аналогично рассчитывается резистор R6.

Рассчитаем резистор повышенной точности R7 с учетом ступенчатой подгонки (см. рис. 3.3, б).

По формуле (3.2) определим

$$K_{\phi} = \frac{600}{350} = 1,714 .$$

Определяем по формуле (3.3)

$$\delta \left(\frac{\Delta R}{R} \right)_{\Sigma доп} = \frac{2,3}{1,15} - 0,26 = 1,74\% .$$

По формуле (3.9) получим

$$\delta \left(\frac{\Delta K_{\phi}}{K_{\phi}} \right)_{\text{дон}} = \left\{ [1,74]^2 - [5]^2 - [0,5 \cdot 10^{-5} \cdot 10^3 \cdot 100]^2 - [0,2 \cdot 10^{-4} (358 - 293) \cdot 100]^2 \right\}^{0,5} = \sqrt{-22,24}.$$

Так как подкоренное выражение меньше нуля, необходимо проектировать резистор с подгонкой.

По формуле (3.10)

$$\epsilon_p = \left(\frac{15}{10 \cdot 0,8 \cdot 1,714} \right)^{0,5} = 1,046 \text{ мм} = 1046 \text{ мкм}.$$

Выбираем $\epsilon = 1050$ мкм.

По формулам (3.14) и (3.15) определим

$$\delta \left(\frac{\Delta K_{\phi}}{K_{\phi}} \right) = \frac{10 \left[1 + \left(\frac{1}{1,714} \right)^2 \right]^{0,5} \cdot 100}{1050} = 1,10\%;$$

$$\delta_{\text{max}} = [(5)^2 + (1,10)^2]^{0,5} = 5,12\%;$$

$$\delta_R = \left\{ [1,74]^2 - [0,5 \cdot 10^{-5} \cdot 1000 \cdot 100]^2 - [0,2 \cdot 10^{-4} (358 - 293) \cdot 100]^2 \right\}^{0,5} = 1,66\%;$$

$$R_{\text{max}} = 600 \left(1 + \frac{1,66}{100} \right) = 609,96 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{min}} = 600 \left(1 - \frac{1,66}{100} \right) = 590,04 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{min}}^* = \frac{609,96 \left(1 - \frac{5,12}{100} \right)}{\left(1 + \frac{5,12}{100} \right)} = 550,54 \text{ Ом};$$

$$l_C = \frac{(609,96 - 590,04) \cdot 1050}{350 \left(1 + \frac{5}{100} \right)} = 56,9 \text{ мкм};$$

$$l_O = \frac{609,96 \cdot 1050}{350 \left(1 + \frac{5}{100} \right)} = 1742,7 \text{ мкм}.$$

Так как полученное значение $l_C < l_{\text{min}}$, то выбираем длину секции $l_C = l_{\text{min}} = 100$ мкм.

Скорректированные значения ширины и длины определяем по формулам (3.17) и (3.18)

$$\epsilon' = \frac{100 \cdot 1050}{56,9} = 1845 \approx 1850 \text{ мкм};$$

$$l'_O = \frac{1742,7 \cdot 1850}{1050} = 3070,4 \approx 3070 \text{ мкм}.$$

Число секций Π_C (3.16)

$$\Pi_C = \frac{590,04 - 550,54}{609,96 - 590,04} \cdot \frac{100 + 5}{100 - 5} = 2,19.$$

Выбираем $П_C = 3$.

Рассчитаем конденсатор $C1$. В качестве диэлектрика выбираем моноокись кремния (см. прил. 4). Принимаем $K_3 = 8$, $\delta\left(\frac{\Delta d}{d}\right) = 10\%$.

По формулам (3.3) – (3.7)

$$M\left(\frac{\Delta C}{C}\right)_{T_{\max}} = 2 \cdot 10^{-4} (358 - 293) \cdot 100 = 1,3\%;$$

$$M\left(\frac{\Delta C}{C}\right)_{T_{\min}} = 2 \cdot 10^{-4} (358 - 293) \cdot 100 = 1,2\%;$$

$$M\left(\frac{\Delta C}{C}\right)_{CT} = 0;$$

$$\delta\left(\frac{\Delta C}{C}\right)_{\Sigma_{\text{дон}}} = \frac{20}{1,15} - 1,3 = 16,09\%.$$

По формуле (3.20) определим

$$\delta_{\text{содо}} = \left\{ [16,09]^2 - [3]^2 - [10]^2 - [4 \cdot 10^{-5} \cdot 1000 \cdot 100]^2 - [0,5 \cdot 10^{-4} \cdot (358 - 293) \cdot 100]^2 \right\}^{0,5} = 11,57\%.$$

Используя формулы (3.21) и (3.22), получим

$$d_U = \frac{0,1 \cdot 8}{2 \cdot 10^6} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ см} = 0,004 \text{ мкм};$$

$$d_\delta = \frac{0,354 \cdot 5,5 \cdot (10 \cdot 10^{-4})^2}{100 \left(\frac{11,57}{100}\right)^2} \cdot \left(1 + \frac{3}{100}\right) = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ см} = 0,015 \text{ мкм}.$$

Учитывая, что $d_{\min} = 0,3 \text{ мкм}$, выбираем $d_{\text{расч}} = 0,5 \text{ мкм}$.

По формуле (3.23)

$$S_O = \frac{100 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4}}{0,0885 \cdot 5,5} = 1,027 \cdot 10^{-2} \text{ см} = 1,027 \text{ мм}^2;$$

$$L = B = \sqrt{1,027} = 1,01 \text{ мм} = 1010 \text{ мкм}.$$

Эскиз топологии ГИС компаратора показан на рис. 7.2.

Оценим тепловой режим ИПС, расположенной на плате ГИС вблизи резистора R7, выделяющего наибольшую мощность (тепловыми полями остальных элементов и компонентов для простоты в этом примере пренебрегаем).

Для подложки из ситалла (см. прил. 1) определим по экспликация к формуле (3.26) эквивалентную толщину

$$l = 0,6 + \frac{1,43 \cdot 0,1}{0,3} = 1,08 \text{ мм}.$$

Собственный перегрев ИПС определим по формуле (3.26). Площадь ИПС $S_{A1} = 1,0 \cdot 1,0 = 1,0 \text{ мм}^2$; ее относительные размеры $q = r = \frac{1,0}{2 \cdot 1,08} = 0,46$.

По графикам (см. рис. 3.6) определим $\gamma(r, q) = 0,43$.

Тогда при мощности, рассеиваемой ИПС $P_{A1} = 14 \text{ мВт}$, получим

$$\Theta_{iA1} = \frac{14 \cdot 10^{-3} \cdot 1,08 \cdot 10^{-3} \cdot 0,43}{1,43 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 4,6 \text{ К.}$$

Фоновый перегрев, обусловленный тепловым потоком из резистора R7, рассчитаем по формуле (3.27)

при $\Delta_1 = 1,85 \text{ мм}$; $\Delta_2 = 3,07 \text{ мм}$; $X_O = 0,5 \text{ мм}$; $Y_O = 0$;

$$S_{R7} = 1,85 \cdot 3,07 = 5,68 \text{ мм}^2;$$

$$q_1 = \frac{1,85}{2 \cdot 1,08} + \frac{0,5}{1,08} = 1,32;$$

$$q_2 = \frac{1,85}{2 \cdot 1,08} - \frac{0,5}{1,08} = 0,39;$$

$$r_1 = r_2 = \frac{3,07}{2 \cdot 1,08} \pm \frac{0}{1,08} = 1,42;$$

$$\gamma(r_1, q_1) = \gamma(q_1, |r_1|) = 0,85;$$

$$\gamma(|r_2|, q_2) = \gamma(r_1, |q_2|) = 0,52;$$

$$\Theta_{R7.A1} = \frac{15 \cdot 10^{-3} \cdot 1,08 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 1,43 \cdot 5,68 \cdot 10^{-6}} [0,85 + 0,52 + 0,52 + 0,85] = 1,4 \text{ К.}$$

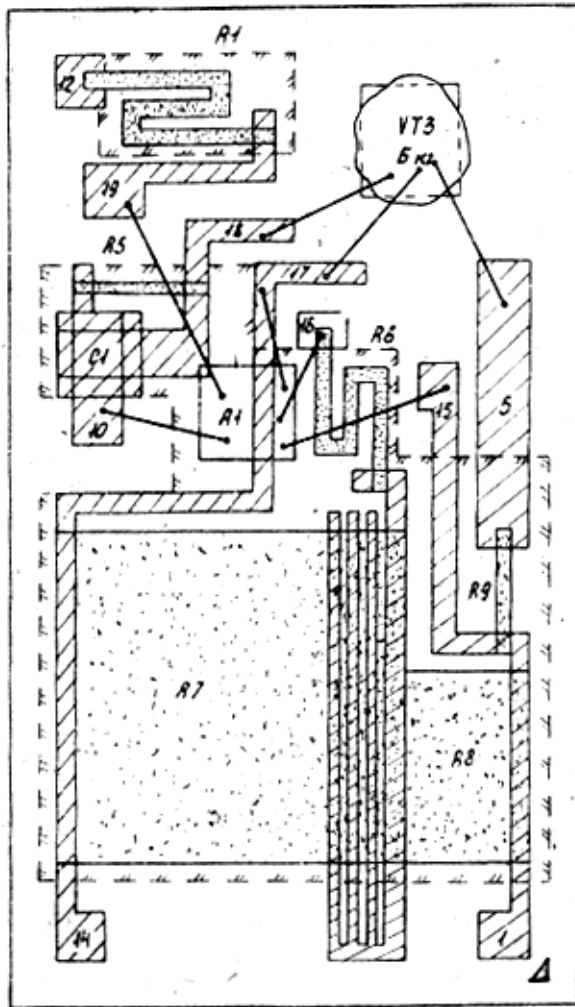


Рис. 7.2. Эскиз топологии ГИС

Внутренний перегрев кристалла ИПС оценим по формуле (3.25)

$$\Theta_{\text{вНП}} = 14 \cdot 1 = 14 \text{ К.}$$

Суммарная температура ИПС определяется по формуле (3.24) (при максимальной рабочей температуре)

$$T_{\text{А1}} = 385 + 4,6 + 1,4 + 14 = 378 \text{ К.}$$

Рассчитанная величина температуры не превышает предельно допустимую (418 К) для кристалла ИПС.

Борис Георгиевич Коноплев

Руководство к выполнению работы
расчетно-графического практикума

Конструирование гибридных интегральных микросхем
по курсу
«Конструкции и расчет микросхем и микроэлементов ЭВА»
для студентов специальности 0648

Ответственный за выпуск Б. Г. Коноплев
Редактор Б. А. Федулеев

Подписано к печати 28. V. 1981
Формат 60×84 $\frac{1}{16}$ Бумага оберточная
Офсетная печать. Усл. п. л. - 3,1. Уч.-изд. л. - 2,6.
Заказ № 602 Тираж 300 экз.

Издательство Таганрогского государственного
радиотехнического университета
ГСП 17 А, Таганрог, 28, Некрасовский, 44
Типография Таганрогского радиотехнического
университета
ГСП 17 А, Таганрог, 28, Энгельса 1.